

高速パルス伝送用アクティブ線路の伝送品質に関する研究

著者	齋藤 重明
号	646
発行年	1977
URL	http://hdl.handle.net/10097/9382

氏 名	さい とう しげ あき 齋 藤 重 明
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 53 年 3 月 24 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程)電気及通信工学専攻
学 位 論 文 題 目	高速パルス伝送用アクティブ線路の伝送品質に関する研究
指 導 教 官	東北大学教授 佐藤利三郎
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 佐藤利三郎 東北大学教授 斎藤 伸自 東北大学教授 星子 幸男 東北大学教授 重井 芳治 東北大学助教授 長沢 庸二

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

アクティブ線路は神経軸索の研究に端を発し，その伝送特性が類似している線路として考案されてきた線路であり，構造を異にする多くのアクティブ線路が提案され，その基本的伝送特性が明らかにされてきた。しかしながら，次のような理由から，アクティブ線路の伝送品質に関する検討はほとんど行なわれていない。(1) エサキダイオードなどの非線形能動素子を含むため解析が困難である。(2) 高速パルス列の位相測定が難しい。(3) タイミング回路を持たない中継系のジッタ評価法が確立していない。

本論文は，アクティブ線路の伝送品質，特に，ジッタの発生要因・累積過程について理論的および実験的に明らかにし，アクティブ線路の適用範囲・ジッタ抑圧方法の検討を行うことを目的

としている。

第2章 デジタル伝送路の伝送品質の評価パラメータ

本章では、デジタル伝送路における伝送品質を評価するパラメータであるジッタおよび符号誤り率について述べ、本研究で用いたジッタ評価法について他の評価法と比較検討し、本研究における立場を明確にしている。

本論文では、パルスの正規の位置からのずれであるタイミングジッタに注目し、ジッタ測定精度の向上を計り、その発生要因を明確にするために、パターンにより組織的に累積する組織的ジッタおよびパターンに依存しない非組織的ジッタに分類し、前者を静パターンジッタ⁽¹⁾、後者をPPMジッタを用いて評価した。

第3章 再生中継方式とアクティブ線路の比較

本章では、本論文で対象とするアクティブ線路の構造および解析手法を示し、デジタル伝送の一方式であるPCM再生中継系との比較を行い、両者の根本的差異を明らかにした。

第4章 アクティブ線路における伝送品質の理論解析および数値解析

本章では、アクティブ線路における伝送品質に関して、理論解析および数値解析による検討を試みた。すなわち、まず、ジッタ分布を仮定してジッタと符号誤り率との関係を導き、ジッタの実効値が 25° 以下であれば誤り率が 10^{-10} 以下の伝送が可能であることを示した。次に、アクティブ回路の透過特性を折れ線近似により理想化して解析を行い、アクティブ回路で発生する位相変動はバイアス変動によるものが支配的であることを示した。また、数値解析により反射波1 mV換算で100段伝送後に40~50 psec ($2\sim 2.5^\circ$)の位相変動が生ずることを示した。さらに、ジッタ伝搬モデルを提案して多段伝送におけるジッタの累積効果を解析し、累積ジッタの実効値は各段での出力パルスの位相変動がランダムの場合は \sqrt{N} (N は段数)に比例し、同相の場合には N に比例して増加することを明らかにした。各段の変動の間に相関がある場合は一定以上のジッタは累積しないことを示し、ジッタ抑圧の可能性を示した。最後に、パターンパルスの伝送シミュレーションから、パターン効果によるジッタの電力密度は N^2 に、すなわち実効値は N に比例して累積増加することを明らかにした。新たに、マークこみあい率を定義し、図1に示すようにマークこみあい率と位相偏位巾が強い相関をもち、パターンによるジッタはマークこみあい率の大きなパターンによって生ずることを明らかにした。

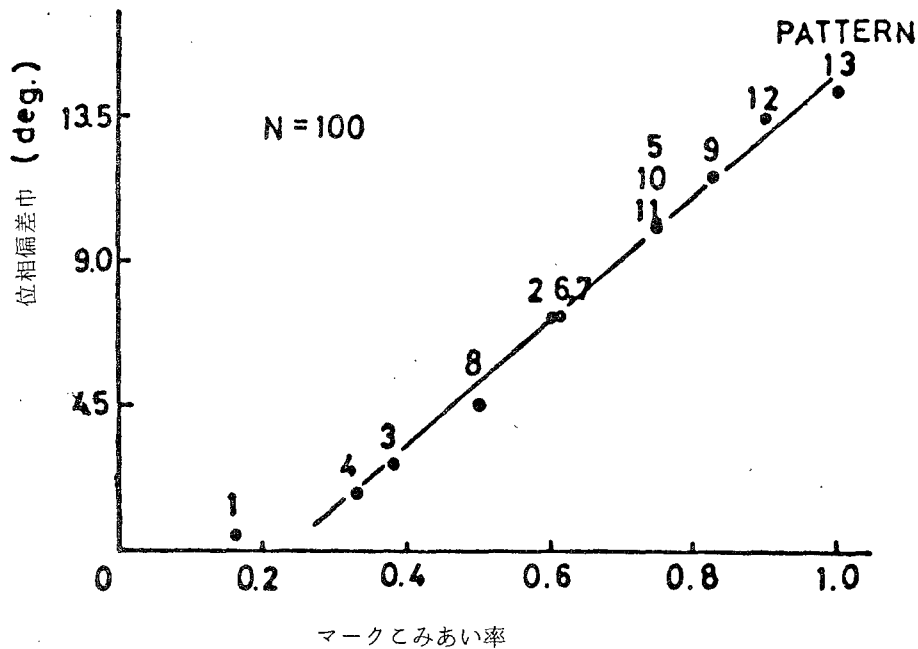


図 1. マークこみあい率と位相偏差巾との関係 (シミュレーション値)

第 5 章 アクティブ線路におけるジッタ測定システム

本章では、第 2 章で述べたジッタ評価法に基づき、アクティブ線路のジッタ測定を行うために開発した正弦波 PPM ジッタ測定システムおよび静パターンジッタ測定システムの構成および性能・特徴について述べる。

正弦波 PPM ジッタ測定システムは、伝送路の送受端で PPM 波の被変調度を比較することにより、非組織的ジッタのレベル特性・周波数特性を測定するものである。本測定システムは、基準信号を $125/32$ MHz としているため変復調部に TTL の使用が可能であり、回路規模・経済性の上で大きな特徴をもつ。また、ダイナミックレンジ 240° で良好な直線性を示し、 $\pm 1^\circ$ 以内の分解能を得ている。

静パターンジッタ測定システムは、パターンパルス列からクロック成分を抽出し、その位相を送受端で比較測定するシステムである。本システムは、ダイナミックレンジ 16 dB で位相変動を 1° 以内に抑え、20 dB 以上の入力不整合減衰量を達成している。

第6章 アクティブ線路におけるジッタの測定結果および伝送品質の評価

本章では、測定結果を中心に、アクティブ線路のジッタ特性を論じ、ジッタ規格からアクティブ線路の適用範囲を示し、再生中継系との伝送品質の比較を行った。

まず、アクティブ回路のバイアス電圧を変化させた場合の伝搬パルスの位相変動を測定し、シミュレーションによる結果とはほぼ一致していることを示した。次に、正弦波PPMジッタの測定から次の事実を明らかにした。非組織的ジッタは、平坦な周波数特性を示し、信号の入力振巾・バイアス供給電圧に関係せず、ほとんど増減することなく伝送される。これは、高周波ジッタ抑圧特性を有する再生中継方式とアクティブ線路とが大きく異なる点である。

静パターンジッタの測定から、静パターンジッタ巾は段数にはほぼ比例して増加し、ジッタ電力密度は、図2に示すように、ほぼ段数 N の2乗に比例して増加することを明らかにした。また、同図に、数値解析から得られた最悪値およびPCM-400Mシステムにおける規格値(STD)、実験値を示した。

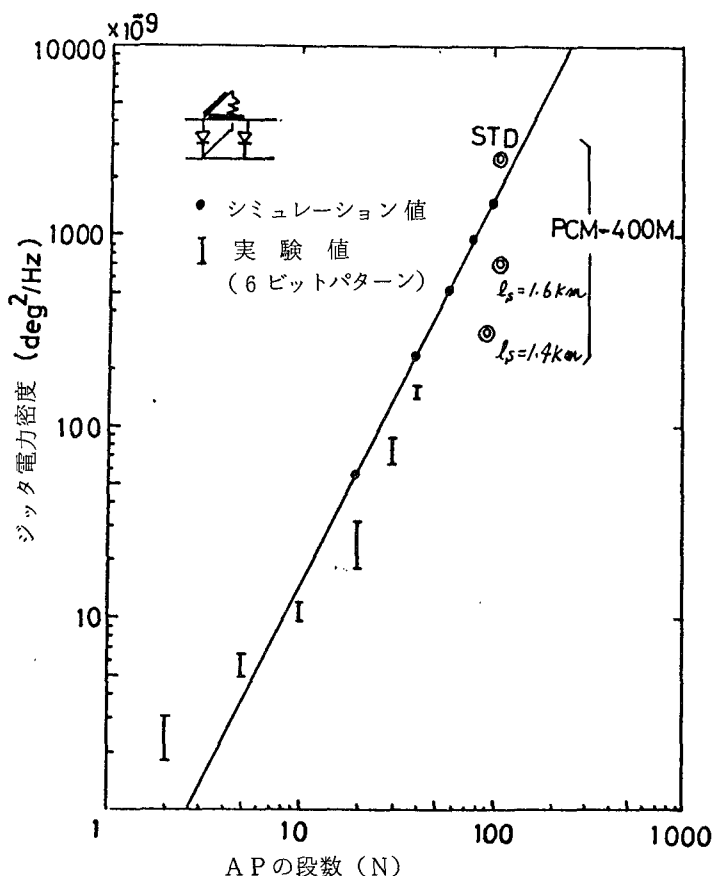


図2. ジッタ電力密度とアクティブ回路の段数との関係

電力線からのじょう乱を想定し、アクティブ線路にバイアス変動が存在する場合の累積ジッタ特性を明らかにした。すなわち、累積ジッタの周波数特性は平坦であり、その実効値はバイアス変動の振巾と段数に比例して増加する（図3）。アクティブ線路の多段伝送において、バイアス変動を抑えるバイアス供給回路の検討が必要であることを示した。

以上の結果に基づき、アクティブ線路の段数と許容バイアス変動との関係、段数とジッタ実効値との関係を明示し、最も厳しいカラーテレビ信号のジッタ規格からの適用範囲を示した。最後に、PCM-400M方式とのジッタの比較を行い、一中継区間（1.6 km）の伝送において同程度の伝送品質を得ることができることを示した。さらに長距離の伝送においては、アクティブ線路のパターンによるジッタが N に、PCM-400Mでは \sqrt{N} に比例して増加することから、ジッタ抑圧が必要であることを述べた。

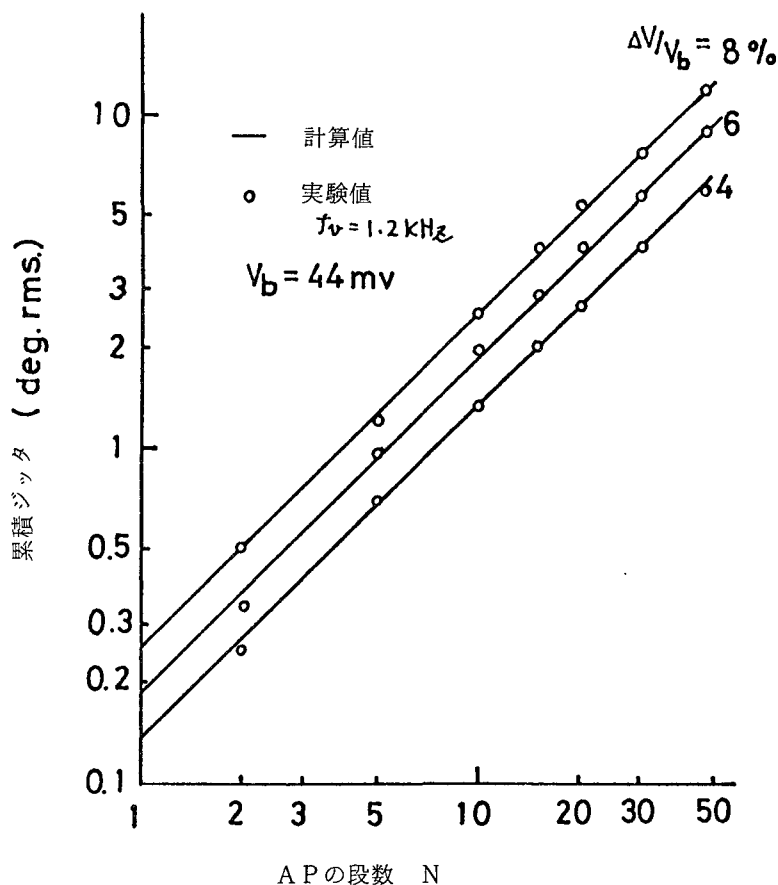


図3. バイアス変動があるアクティブ線路の累積ジッタと段数との関係

第7章 ジッタ抑圧機能を有するアクティブ回路の一構成例

本章では、パターンジッタ抑圧回路の一構成例を提案し、数値解析により良好なジッタ抑圧効果があることを示した。

本回路は、分布定数素子にコンデンサを並列に装荷した簡単な回路であり、コンデンサからの小さな反射波を利用して次のパルス位置の修正を行うものである。本回路を付加して構成したアクティブ線路（図4）は、ゆるやかなパルス間隔収束性を有する。また、 ℓ_c を適当に選ぶことにより、マークこみあい率の大きなパターンの位置変動を抑えることができ、約5 dB のジッタ改善が得られることを示した。

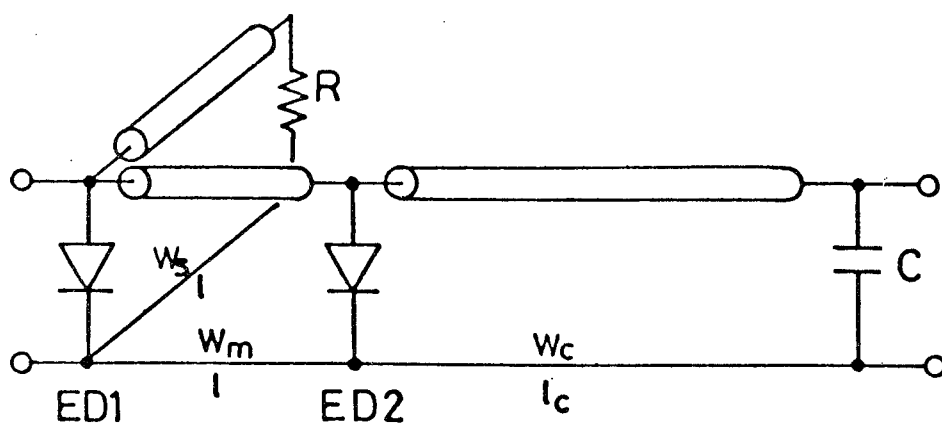


図4. ジッタ抑圧機能を有するアクティブ回路の構造

第8章 結 論

本論文で得られた成果を総括し、今後の問題点を述べた。

参 考 文 献

- 1) C. J. Byrne, B. J. Karafin and D. B. Robinson ; "Systematic jitter in a chain of digital regenerative repeaters", Bell Syst. tech. J., 42, p2679 (Nov.1963).

審 査 結 果 の 要 旨

アクティブ線路は神経軸索と類似した伝送特性を持ち、パルス伝送路として適した特性を備えている。従来、種々の構造を持つアクティブ線路が提案され、その基本的伝送特性が解明されてきたが、伝送品質に関する研究はまだほとんど行われていない。著者は、PCM再生中継系の伝送品質の評価法をアクティブ線路に適用し、理論と実験の両面からパルス伝送品質を明らかにした。本論文はそれらの成果をとりまとめたもので、全文8章より成る。

第1章は緒論である。第2章では、アクティブ線路におけるパルス伝送品質を評価するパラメータのうち、特にジッタおよび符号誤り率について述べ、本研究の立場を明らかにしている。

第3章では、本研究で対象としたアクティブ線路の構成およびその基本的伝送特性について述べ、PCM再生中継系との差異を明らかにしている。

第4章では、アクティブ線路における伝送品質の解析を行っている。まず、符号誤りとジッタの関係について述べ、ジッタの伝搬モデルを導入してジッタの累積を理論的に解析し、さらにパターンによるジッタを数値解析により明らかにしている。

第5章では、パルス伝送品質評価に欠くことのできないジッタ測定システムを開発し、その構成および特徴について述べ、測定システムの性能評価を行っている。

第6章では、測定結果を中心にアクティブ線路のジッタ特性を検討している。この結果、バイアス変動によるジッタおよびパターンに依存するジッタの実効値が段数にはほぼ比例して累積することが明らかとなり、情報に対応したジッタ規格から、アクティブ線路の適用範囲を明らかにしている。

第7章では、パターンによるジッタの抑圧回路を提案し、数値解析により累積ジッタを軽減することが可能であることを述べている。これはアクティブ線路を用いたパルス伝送路の構成に対する重要な知見である。

第8章は結論である。

以上要するに、本論文はアクティブ線路の伝送品質に関し、特にジッタについて理論および実験の両面から研究を行い、ジッタの発生、累積および抑圧についていくつかの新しい知見を与えたものであり、通信工学の発展に寄与するところ少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。